

7/9/1
DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2001 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

009025541 **Image available**
WPI Acc No: 1992-152901/199219
XRPX Acc No: N92-114071

Thermal wave analysis - measuring geometric, thermal, electronic and elasto-mechanical material parameters of solid bodies with surface layers in coating technology, using laser beam modulation

Patent Assignee: JENOPTIK ZEISS JENA GMBH CARL (JENA); JENOPTIK GMBH (JENA); JENOPTIK GMBH (ZEIS); JENOPTIK JENA GMBH (ZEIS)

Inventor: GEILER HD; KOWALSKI P; WAGNER M; GEILER H

Number of Countries: 009 Number of Patents: 006

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
EP 484282	A	19920506	EP 91810847	A	19911101	199219 B
DE 4035266	A	19920507	DE 4035266	A	19901102	199220
US 5206710	A	19930427	US 91765646	A	19910925	199318
EP 484282	A3	19920708	EP 91810847	A	19911101	199334
DE 4035266	C2	19951116	DE 4035266	A	19901102	199550
EP 484282	B1	19960410	EP 91810847	A	19911101	199619

Priority Applications (No Type Date): DE 4035266 A 19901102

Cited Patents: No-SR.Pub; 3.Jnl.Ref; EP 233120; EP 312765; US 4579463

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
EP 484282	A	G 12		
Designated States (Regional): AT CH FR GB IT LI NL				
US 5206710	A	9	G01N-021/17	
DE 4035266	C2	11	G01N-021/17	
EP 484282	B1 G	16	G01N-021/17	
Designated States (Regional): AT CH FR GB IT LI NL				

Abstract (Basic): EP 484282 A

A laser beam generated by a laser diode (1) is directed on an object to be analysed, and the intensity of which, modulated by the reaction of the object to the energy applied to the object, is detected across an objective used for the focussing. The intensity of the laser beam before it meets the object (15) is modulated in such a way, that its modulation spectrum contains two discrete frequencies (f1,f2). The optical response of the object, produced as an amplitude of a mixed frequency of both modulation frequencies (f1,f2) at the output of the measurement detector (10) is measured by a frequency selective unit.

The laser beam in the beam course between the laser source (1) and the objective (14) matches an optical modulator, to which both modulation frequencies (f1,f2) are supplied. The laser beam is composed of two part beams not capable of interference with each other, each of which is intensity modulated with one of the two frequencies (f1,f2).

USE/ADVANTAGE - Photothermal analysis of layers e.g. for semiconductors. Non-contact and non-destructive analysis. Engineering cost reduced. Lowers limit of sensitivity.

Dwg.1/4

Abstract (Equivalent): EP 484282 B

Method for thermowave analysis in which a laser beam is directed on an object to be examined (15), the modulated intensity of the beam being detected by a measuring detector (10) via a focusing objective (14) by means of the object reaction to the energy deposit of the object (15) characterized in that the intensity of the laser beam before it hits the object (15) is modulated in such a way that its modulation spectrum contains two discrete frequencies (f1; f2) and the optical response of the object (15) is measured at the output of the measuring detector (10) by means of a frequency-selective device as the amplitude of a mixed frequency of the two modulation frequencies (f1; f2) generated by the said object reaction.

Dwg.1/4

Abstract (Equivalent): US 5206710 A

The method for thermowave analysis involves employing a single laser beam, which has an additive, two-frequency, intensity modulation, and is directed onto the object. The amplitude of the mixed frequency of the discrete modulation frequencies, which is not contained in the exciting beam, is analysed as response signal.

By obtaining a reference signal from the exciting beam and forming the difference between this exciting beam and the measurement signal, noise suppression and a lowering of the limit of sensitivity are achieved in an advantageous manner.

USE - In coating technology for testing quality.

Dwg.2/4

Title Terms: THERMAL; WAVE; ANALYSE; MEASURE; GEOMETRY; THERMAL; ELECTRONIC
; ELASTO; MECHANICAL; MATERIAL; PARAMETER; SOLID; BODY; SURFACE; LAYER;
COATING; TECHNOLOGY; LASER; BEAM; MODULATE

Derwent Class: P55; S03; U11

International Patent Class (Main): G01N-021/17

International Patent Class (Additional): B23K-026/00; G01N-021/75;

G01N-021/84

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): S03-E04A5A; U11-F01A4; U11-F01A9; U11-F01B9

98/2379



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 40 35 266 A 1**

②① Aktenzeichen: P 40 35 266.8
②② Anmeldetag: 2. 11. 90
②③ Offenlegungstag: 7. 5. 92

⑤① Int. Cl. 5:
G 01 N 21/75
G 01 N 21/71
B 23 K 26/00
// G 01 B 11/00, G 02 F 1/11

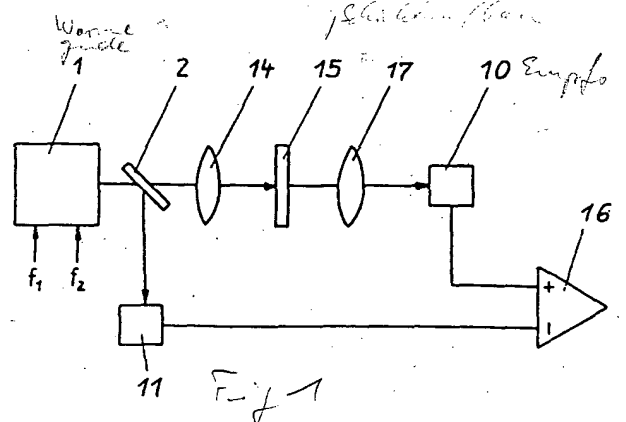
G 01 N 21.84 PT

⑦① Anmelder:
Jenoptik Carl Zeiss Jena GmbH, O-6905 Jena, DE

⑦② Erfinder:
Wagner, Matthias, O-6908 Jena, DE; Kowalski,
Peter, O-6902 Jena, DE; Geiler, Hans-Dieter, O-6900
Jena, DE

⑤④ Verfahren und Anordnung zur Thermowellenanalyse

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Anordnungen zur Thermowellenanalyse, die zur Messung geometrischer, thermischer, elektronischer und elastomechanischer Materialparameter von Festkörpern, insbesondere von deren Oberflächenschichten, angewendet wird. Ihr Hauptanwendungsgebiet ist die Beschichtungstechnologie.
Die Aufgabe, den technischen Aufwand der Thermowellenanalyse sowie ihre Empfindlichkeitsgrenze zu senken, wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein einziger Laserstrahl, der eine additive Zweifrequenz-Intensitätsmodulation aufweist, auf das Objekt gerichtet wird und als Responsesignal die Amplitude der im Anregungsstrahl nicht enthaltenen Mischfrequenz der diskreten Modulationsfrequenzen analysiert wird. Durch die Gewinnung eines Referenzsignals aus dem Anregungsstrahl und dessen Differenzbildung mit dem Meßsignal wird vorteilhaft eine Rauschunterdrückung und Senkung der Empfindlichkeitsgrenze erreicht.



DE 40 35 266 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Anordnungen zur Thermowellenanalyse nach dem Typ eines Einstrahlverfahrens. Sie findet Anwendung zur Messung geometrischer, thermischer, elektronischer und elastomechanischer Materialparameter von Oberflächenschichten durch Auswertung der photothermischen Response-Signale aus den Oberflächenschichten. Das berührungslose und zerstörungsfreie anwendbare Verfahren gemäß der Erfindung hat ihr Hauptanwendungsgebiet in der Beschichtungstechnologie als Prüfverfahren zur Qualitätskontrolle.

Zur berührungslosen und zerstörungsfreien Erfassung von Parametern dünner Schichten sind Methoden der photothermischen Spektroskopie bekannt. Die physikalischen Prinzipien und grundsätzlichen Lösungen sind z. B. in "Photoacoustic and Thermal Wave Phenomena in Semiconductors", Ed. A. Mandelis, North-Holland, New York 1987, zusammengestellt und beschrieben.

Ein bekanntes Verfahren nach A. Rosencwaig besteht darin, daß ein periodisch intensitätsmodulierter Pumpplaser eine Thermowelle in der Schicht anregt, die ihrerseits den Brechungsindex lokal moduliert, so daß mit einem zweiten sogenannten Testlaserstrahl die modulierte optische Reflexion (MOR) vermessen werden kann (US 45 79 463). Die Signalverarbeitung erfolgt dabei vorzugsweise mittels Lock-in-Technik, um Phase und Amplitude der MOR zu erfassen. Dieses Verfahren erfordert den Einsatz von 2 Lasern unterschiedlicher Wellenlänge sowie zur Gewährleistung eines quantitativ auswertbaren Reflexionssignale die konzentrische Anordnung von Pump- und Teststrahl bei senkrechtem Einfall auf die Schicht. Der Teststrahlradius sollte dabei höchstens die Hälfte des Pumpstrahlradius betragen.

Die in den Patentschriften US 46 34 290, US 46 36 088, EP 01 62 681, EP 02 91 276 vorgeschlagenen Lösungen haben neben der hohen optischen Präzision der definierten Fokussage einen optischen Mehraufwand (Teleskope) zur Anpassung der erzeugten Taillen der Laserstrahlbündel und einen Justieraufwand zum konzentrischen Platzieren der Taillen auf der Schichtoberfläche. Außerdem stellt das Eigenrauschen des Testlasers einen begrenzenden Faktor des Auflösungsvermögens dar, so daß bei üblichen Forderungen von $\delta R/R < 10^{-6}$ hoch rauschstabilisierte Laser verwendet werden müssen. Das wirkt zusätzlich kostenerhöhend: Bei Einsatz des Zweistrahlverfahrens als in-situ-Meßverfahren mit großem Objektiv-Objekt-Abstand z. B. in Beschichtungskammern sind die optische Justage und die Stabilität kaum noch beherrschbar. Zur Messung der MOR sind auch Einstrahlverfahren bekannt (L. Chen et al. in: Appl. Phys. Lett. 50 (1987) 1349; A. Lörincz, L. Andor in: Photoacoustic and Photothermal Phenomena, P. Hes, J. Pelzl Hrsg. Springer Verlag Heidelberg, 1988, Seite 486). Diese sind dadurch gekennzeichnet, daß die reflektierte Pumpplaserstrahlung detektiert wird. Zur Trennung der MOR von der reflektierten modulierten Pumpintensität nutzt man die Tatsache, daß bei der Modulation durch die Thermowelle Oberwellen der Modulationsfrequenz entstehen. Damit ist eine Lock-in-Detektion der 2. harmonischen Oberwelle möglich. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, daß auch der Modulator des Pumplasers Oberwellen erzeugt, welche das Meßsignal verfälschen. Das von A. Lörincz (Appl. Phys. B47 (1988) 40) vorgeschlagene Verfahren der exakten Rechteckmodulation des Pumplasers bedeutet für

höhere Modulationsfrequenzen im MHz-Bereich einen extrem hohen Aufwand zur Modulation (Anstiegszeiten im ps-Bereich). In der zitierten Arbeit wird gleichzeitig der Gedanke geäußert, durch ein Phasenkontrastverfahren aus der von der Thermowelle erzeugten 1. Beugungsordnung des reflektierten Laserstrahls die darin enthaltene MOR-Information von der modulierten Pumpintensität zu trennen. Wegen der endlichen Breite der Beugungszone ist die Reduktion des MOR-Pumpoberwellen-Verhältnisses auf 10^{-7} kaum möglich. Das gleiche trifft für die Rauschkompensation zu.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den technischen Aufwand zur Durchführung der optischen Thermowellenanalyse zu reduzieren und die Empfindlichkeitsgrenze zu senken. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren zur Thermowellenanalyse gemäß den Merkmalen in Anspruch 1 gelöst.

Die Grundidee der Erfindung basiert darauf, daß die Objektanregung und die Detektierung der durch das Objekt modulierten Transmission oder Reflexion mit einem einzigen auf das Objekt gerichteten optischen Strahl erfolgt, dessen Intensität mit zwei Frequenzen moduliert ist. Diese Modulation läßt sich erzeugen durch eine modulierte Lichtquelle, der beide Modulationsfrequenzen aufgeprägt werden, durch die Aufteilung eines Strahles in zwei Teilstrahlen, ihre getrennte Modulation und nachfolgende Zusammenführung zu einem Strahl oder durch die Verwendung zweier getrennter, einzeln modulierter Lichtquellen und einer Vereinigung der so geschaffenen Teilstrahlen. Für den Fall der Herstellung des Strahles aus zwei von einer Lichtquelle aufgespaltenen Teilstrahlen muß jedoch die Möglichkeit der Interferenz der Teilstrahlen miteinander ausgeschlossen werden, um eine unerwünschte Erzeugung von Mischprodukten beider Frequenzen zu unterdrücken.

Die durch die erfindungsgemäße additive Zweifrequenzmodulation, die für das Objekt effektiv als Anregung mit dem arithmetischen Mittel der beiden Frequenzen wirkt, ausgelöste Thermowellen-Reaktion findet sich in das Objekt wieder verlassenden Strahlanteil in Form von Mischprodukten der beiden Frequenzen, die im Anregungsstrahl auf Grund der Additivität der Modulation nicht enthalten sind und deshalb über eine frequenzselektive Einrichtung nachgewiesen werden können.

Zweckmäßigerweise verwendet man zur Detektierung der von Objekt modulierten Transmission oder Reflexion die Differenzfrequenz der beiden den Strahl modulierten Frequenzen, da sie leicht in niederfrequenten Bereiche gelegt werden kann, was sich vorteilhaft auf den meßelektronischen Aufwand auswirkt. Für die ebenfalls mögliche Auswertung der Summenfrequenz aus den beiden Modulationsfrequenzen ist außer der Bewertung der Intensitätsamplitude auch eine Analyse der Phasenablage erforderlich.

Außerdem ist es vorteilhaft, die Detektion der modulierten Transmission bzw. Reflexion durch eine Differenzbildung aus Meßsignalen der Intensität des das Objekt wieder verlassenden Strahlanteils und der Intensität eines aus dem einfallenden Strahl ausgekoppelten Teilstrahls vorzunehmen.

Die zur Differenzbildung verwendeten Intensitäten werden beim Meßprozeß zweckmäßig durch ein Element steuerbarer Transmission so abgeglichen, daß der zeitliche Mittelwert der Differenz der Meßsignale identisch Null ist. Dieses Meßprinzip hat den Vorteil, daß derjenige Anteil des Intensitätsrauschens der Lichtquel-

le unterdrückt wird, der das Schrotrauschen des Photonenstromes der Detektoren übersteigt und von dem bei einer alleinigen Intensitätsmessung des vom Objekt beeinflussten Strahlanteils insbesondere jene Beiträge störend wirken, die aus den Bereichen der detektierten Mischfrequenzen sowie der um die Mischfrequenz verschobenen Modulationsfrequenzen herrühren. Damit wird die Grenzempfindlichkeit nicht mehr von den spezifischen Rauscheigenschaften der Lichtquelle, sondern nur noch von der Intensität der Lichtquelle und den Rauscheigenschaften des Detektionssystems bestimmt. Somit sind auch vergleichsweise stark rauschende Lichtquellen, z. B. Laser geringer Stabilität, für das Meßverfahren einsetzbar.

Der Einsatzbereich des erfindungsgemäßen Verfahrens läßt sich auch auf solche Thermowellen-Reaktionen des Objektes erweitern, die im wesentlichen keine Modulation des Transmissions- bzw. Reflexionsvermögens bewirken, sondern zur Lage- und Formmodulation des Strahles führen. Das geschieht, indem an geeigneter Stelle im Verlauf des vom Objekt beeinflussten Strahles Blenden eingefügt werden, die den Strahl lage- und/oder formabhängig beschneiden. Darüber hinaus können Blenden in diesem Strahlverlauf in einer konjugierten Objektebene zur Meßfeldbegrenzung Anwendung finden.

Die Umsetzung des Verfahrens gemäß der Erfindung in Anordnungen, die die versprochenen vorteilhaften Wirkungen voll zum Tragen bringen, kann im wesentlichen nach der Art und Weise der technischen Realisierung der additiven Zweifrequenzmodulation unterschieden werden.

Diese erfolgt erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 14, 21 oder 26. Dabei ist die Erzeugung eines einzigen auf das Objekt gerichteten Lichtstrahls generell danach unterteilt, ob das Licht einer Quelle oder zweier voneinander unabhängiger Quellen (Anspruch 22) verwendet wird. Der erste Fall läßt sich dann noch danach unterscheiden, ob die Zweifrequenzmodulation innerhalb der Lichtquelle erfolgt (Anspruch 14) oder eine Strahlteilung und separate Modulation der Teilstrahlen realisiert wird (Anspruch 21).

Die Anordnung gemäß Anspruch 14 läßt sich vorteilhaft dadurch realisieren, daß als Lichtquelle eine Laserdiode eingesetzt wird, der beide Modulationsfrequenzen zugeführt werden. In Abhängigkeit davon, ob das Objekt in Transmission oder in Reflexion analysiert werden soll, wird entweder dem Objekt ein dem Objektiv gleichzeitiges optisches System und der Meßdetektor nachgeordnet oder ein strahlauskoppelndes Element für den reflektierten Strahlanteil nach dem doppelt genutzten Objektiv im Strahlengang angeordnet. Als vorteilhaft zur Unterdrückung des Laserrauschens erweist sich, daß im elektronischen Auswertetrakt vor der frequenzselektiven Einrichtung ein Differenzverstärker angeordnet ist, der an seinem invertierenden Eingang mit einem Referenzdetektor, dessen Eingangssignal aus dem unbeeinflussten Strahl der Laserquelle mittels eines halbdurchlässigen Spiegels ausgekoppelt ist, beschaltet ist. Weiterhin läßt sich die Laserquelle zweckmäßig aus einem unmodulierten Laser und einem modulierenden optischen Element zusammensetzen, dem die zwei Modulationsfrequenzen zugeführt werden. Das modulierende optische Element ist dabei vorteilhaft ein akustooptischer Modulator.

Die erfindungsgemäße Anordnung gemäß Anspruch 21 läßt sich vorteilhaft gestalten, indem beide Teilstrah-

len eingangs gleichsinnig linear polarisiert sind, in den Teilstrahlengängen jeweils eine unter dem Brewsterwinkel positionierte Glasplatte so angeordnet ist, daß der jeweils reflektierte Strahlanteil der Glasplatten entlang einer gemeinsamen Achse verläuft, wobei auf dieser Achse zwischen den Glasplatten ein und im Richtungssinn der reflektierten Strahlanteile ein Referenzdetektor außerhalb des Glasplattenabstands angeordnet sind, und ein $\lambda/2$ -Plättchen in einem der Teilstrahlengänge zwischen Glasplatte und Strahlteilerwürfel vorhanden ist.

Dieser Aufbau läßt sich in zwei Varianten vorteilhaft erweitern. Zum einen wird der Meßdetektor auf der besagten gemeinsamen Achse der Glasplatten dem Referenzdetektor gegenüberliegend angeordnet und der Strahlteilerwürfel in Form einer Polarisationsweiche ausgelegt. Zum anderen kann man eine vollständige Entkopplung von einfallendem und am Objekt reflektiertem Strahl erreichen, indem der einfallende Laserstrahl zum Objektiv achsparallel orientiert ist, so daß auch der reflektierte Strahl zentralsymmetrisch achsparallel bezüglich der Objektivachse verläuft, und sich im Strahlengang des reflektierten Strahls der Meßdetektor befindet. Für beide Varianten ist es vorteilhaft, unmittelbar vor dem Referenzdetektor ein Element mit steuerbarer Transmission zum Abgleich des zeitlichen Mittelwertes aus Meß- und Referenzdetektorsignal auf Null anzuordnen.

Die dritte erfindungsgemäße Anordnung gemäß Anspruch 26 wird dadurch vorteilhaft ergänzt, daß zwischen Strahlteilerwürfel und Objektiv ein halbdurchlässiger Spiegel angeordnet ist, der (analog zur ersten erfindungsgemäßen Anordnung) einen Strahlanteil des einfallenden Laserstrahls auf einen Referenzdetektor auskoppelt, wobei Meßdetektor- und Referenzdetektorsignal den Eingängen eines der frequenzselektiven Einrichtung vorgeschalteten Differenzverstärkers zugeführt werden. Des weiteren ist es von Vorteil, wenn die Strahlen der zwei Laserquellen senkrecht zueinander polarisiert sind, der Strahlteilerwürfel gleichzeitig eine Polarisationsweiche ist und vor dem Meß- und dem Referenzdetektor jeweils ein Polarisationsfilter mit der gleichen Orientierung steht, um Teile des Laserstrahls für die Registrierung auszusondern, die eine Ermittlung der Phasenablage zwischen anregendem Modulationssignal und dem Response-Signal gestatten.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und den unterschiedlichen erfindungsgemäßen Anordnungen ist es möglich, den technischen Aufwand zur Thermowellenanalyse erheblich zu reduzieren und mit Hilfe geringfügiger Ergänzungen (Referenzzweig) die Empfindlichkeitsgrenze entscheidend zu senken.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Die Zeichnung zeigt

Fig. 1 den erfindungsgemäßen Grundaufbau einer Anordnung zur Thermowellenanalyse in der Transmissionsvariante

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Anordnung mit aufgespaltenem Laserstrahl in der Reflexionsvariante mit spezieller Detektor-Balance-Einrichtung

Fig. 3 eine spezielle Ausführungsform der Anordnung mit aufgespaltem Laserstrahl zur vollständigen Entkopplung des reflektierten Strahlanteils

Fig. 4 eine Transmissionsanordnung mit zwei separaten Laserquellen und Polarisationsentkopplung von Meß- und Referenzzweig

In Fig. 1 ist das erfindungsgemäße Verfahren in einer

Grundvariante dargestellt. Dabei wird ein einziger optischer Strahl über ein Objektiv 14 auf das zu untersuchende Objekt 15 fokussiert, wobei der optische Strahl vor allem aus Gründen der erforderlichen Leistung im folgenden ein Laserstrahl sein soll. Der Laserstrahl weist erfindungsgemäß ein Intensitätsmodulationsspektrum mit zwei diskreten Frequenzen f_1 und f_2 auf. Als Quelle wird dazu zweckmäßig eine Laserdiode 1 eingesetzt, der beide Frequenzen f_1 und f_2 zugeführt werden. Das Objekt 15 erfährt dadurch eine effektive Anregung mit dem arithmetischen Mittel der Frequenzen f_1 und f_2 und zeigt eine Thermowellenreaktion, die im das Objekt verlassenden Strahlenteil Mischprodukte der Frequenzen f_1 und f_2 enthält, die auf Grund der Additivität der Anregung im einfallenden Laserstrahl nicht enthalten sind. Die Thermowellenreaktion des Objekts 15 wird gemäß Fig. 1 in Transmission über ein dem Objektiv 14 gleichwertiges optisches System 17 auf einen Meßdetektor 10 übertragen, dessen Signal — bei Voraussetzung einer extrem rauscharmen Laserquelle 1 — zur Erzeugung der Amplitude der Mischfrequenz mittels einer frequenzselektiven Einrichtung zur Auswertung ausreicht, ohne daß die Elemente halbdurchlässiger Spiegel 2, Referenzdetektor 11 und Differenzverstärker 16 unbedingt erforderlich sind. Mit diesem in Fig. 1 angegebenen Referenzweig, der einen Anteil aus dem auf das Objekt 15 gerichteten Laserstrahl auskoppelt, kann jedoch wirkungsvoll das Laserrauschen unterdrückt werden, wenn die eingehenden Meß- und Referenzsignale auf den zeitlichen Differenz-Mittelwert Null abgeglichen werden. Das zur Auswertung in der frequenzselektiven Einrichtung gelangende Differenzverstärkersignal kann also außerdem zum in Fig. 1 nicht dargestellten Abgleich der Intensitäten von Meß- und Referenzsignal verwendet werden.

In Fig. 2 ist die Strahlführung für eine Reflexionsarbeitsweise bei Verwendung eines cw-Lasers als Laserquelle 1 und zweier akustooptischer Modulatoren 4 und 5 in zwei durch Strahlaufspaltung entstandenen Teilstrahlen zur Intensitätsmodulation dargestellt.

Der senkrecht zur Zeichenebene polarisierte Laserstrahl wird durch den Einsatz eines halbdurchlässigen Spiegels 2 und eines Umlenkspiegels 3 in zwei intensitätsgleiche Anteile aufgespalten, und die so entstandenen Teilstrahlen durchlaufen die Modulatoren 4 und 5. Nach ihrer Modulation treffen die Teilstrahlen auf jeweils eine Glasplatte 6 bzw. 7. Die Glasplatten 6 und 7 sind jeweils unter dem Brewsterwinkel orientiert und so angeordnet, daß die reflektierten Strahlenteile der Glasplatten 6 und 7 entlang einer gemeinsamen Achse verlaufen, auf der zwischen den Glasplatten 6 und 7 ein $\lambda/2$ -Plättchen 8 angeordnet ist, so daß der reflektierte Strahlenteil der Glasplatte 6 nach Polarisationsdrehung um 90° die Glasplatte 7 passiert und mit dem von Glasplatte 7 reflektierten Strahlenteil auf den ebenfalls auf der besagten gemeinsamen Achse befindlichen Referenzdetektor 11 fällt. Der durch die Glasplatte 6 hindurchtretende Strahlenteil wird durch einen weiteren Spiegel 3 umgelenkt, passiert ein $\lambda/2$ -Plättchen 9 und wird zusammen mit dem durch die Glasplatte 7 hindurchgetretenen Strahlenteil des zweiten Teilstrahls über einen als Polarisationsweiche ausgelegten Strahlteilerwürfel 13 als ein Strahl mittels des Objektivs 14 auf das Objekt 15 fokussiert. Der vom Objekt 15 reflektierte Strahl wird entsprechend den beiden enthaltenen Polarisationsrichtungen im Strahlteilerwürfel 13 erneut aufgespalten. Die so erzeugten Strahlenteile durchlaufen entgegengesetzt die zuvor von den zwei Teil-

strahlen durchlaufenen Wege bis zu der jeweiligen Glasplatte 6 bzw. 7. Der an Glasplatte 7 reflektierte Anteil passiert das $\lambda/2$ -Plättchen 8 und die Glasplatte 6 und wird zusammen mit dem an Glasplatte 6 reflektierten Anteil entlang der o.g. gemeinsamen Achse der Glasplatten 6 und 7 auf den Meßdetektor 10 geführt. Meß- und Referenzsignal werden wiederum in einem Differenzverstärker 16 voneinander subtrahiert. Über den Differenzverstärker 16 wird auch das Regelsignal für den bereits angedeuteten Intensitätsabgleich zwischen Meß- und Referenzdetektor 10 und 11 gewonnen, mit dem das Element mit steuerbarer Transmission 12 die Intensität auf optischem Wege auf den zeitlichen Mittelwert Null einstellt. Bei der Variante gemäß Fig. 2 ist es jedoch nicht möglich, die Rückwirkung der am Objekt 15 reflektierten Strahlenteile auf die Laserquelle 1 auszuschließen.

Fig. 3 modifiziert deshalb diese Variante, indem nach der identischen Herstellung der zwei Teilstrahlen und deren Vereinigung im Strahlteilerwürfel 13 das Objektiv 14 mit seiner Objektivachse aus der Anregungsstrahlrichtung herausgerückt wird, so daß Anregungs- und Reaktionsstrahl des Objekts 15 zentralsymmetrisch bezüglich der Objektivachse verlaufen und der am Objekt 15 reflektierte Reaktionsstrahl über einen Spiegel 3 in den Meßdetektor 10 eintritt. Alle übrigen Elemente und deren Funktionen bleiben, wie für Fig. 2 beschrieben, erhalten.

Für die Fig. 2 und Fig. 3, in denen zwei Teilstrahlen durch Aufspaltung des Lichtes einer Laserquelle 1 erzeugt werden, ist noch darauf hinzuweisen, daß die Interferenzfähigkeit der Teilstrahlen unterbunden werden muß, um nicht durch Interferenzen Mischprodukte der Modulationsfrequenzen f_1 und f_2 zu erzeugen, die das Meßergebnis verfälschen. Dazu gibt es im wesentlichen vier Möglichkeiten, die wahlweise in den Teilstrahlängen zur Anwendung kommen. In Fig. 2 sind zwei der Möglichkeiten angedeutet. Das sind zum einen die Erzeugung einer hinreichend großen Weglängendifferenz in den Teilstrahlengängen und zum anderen die Ausnutzung von verschiedenen Beugungsordnungen der akustooptischen Modulatoren 4 und 5. Bei letzterer Variante müssen sich die in den Teilstrahlen verwendeten Beugungsordnungen um mindestens den Wert Eins unterscheiden. Weiterhin läßt sich die Interferenzfähigkeit der Teilstrahlen durch die Verwendung unterschiedlicher Trägerfrequenzen der akustooptischen Modulatoren 4 und 5 eliminieren, wodurch sich die Wellenlängen der Teilstrahlen geringfügig verändern lassen. Die vierte und letzte Möglichkeit ist in den Fig. 2 und Fig. 3 enthalten und betrifft die Polarisationsrichtung der Teilstrahlen senkrecht zueinander, wobei hier die senkrecht aufeinander stehenden Polarisationsrichtungen eine Doppelfunktion zur Referenz- und Meßwertauskoppung aufweisen. In Fig. 4, die die Transmissionsarbeitsweise mit zwei separaten Laserquellen 1 aufzeigt, sind zusätzliche polarisationsoptische Elemente eingesetzt, um Teile des Laserstrahles für die Registrierung auszuheben, die die Phasenablage des Responsesignals bezüglich des Modulationssignals des Anregungsstrahles ermitteln lassen. Nach seiner Modulation, die in diesem Beispiel nach Fig. 4 durch die Modulation zweier senkrecht zueinander polarisierter Halbleiterlaser realisiert werden soll, gelangt der mittels eines als Polarisationsweiche fungierende Strahlteilerwürfels 13 zusammengeführte Strahl über das fokussierende Objektiv 14 zum Objekt 15. Aus diesem einfallenden Strahl wird mittels des halbdurchlässigen Spiegels 2 und eines Polarisations-

tionsfilters 19 ein Teil genau eines der beiden Teilstrahlen über das Element mit steuerbarer Transmission 12 auf den Referenzdetektor 11 zur Gewinnung des Referenzsignals geführt. Der durch das Objekt 15 transmittierte Teil des Laserstrahles gelangt über das dem Objektiv 14 gleichwertige optische System 17 und ein weiteres Polarisationsfilter 18, das genauso wie das Polarisationsfilter 19 orientiert ist, auf den Meßdetektor 10. Die weitere Verarbeitung erfolgt wie in den vorigen drei Beispielen beschrieben und läßt eine Phasenanalyse in Ergänzung zur Amplitudenanalyse zu.

Liste der Bezugszeichen

1 Laserquelle	15
2 halbdurchlässiger Spiegel	
3 Spiegel	
4, 5 akustooptische Modulatoren	
6, 7 Glasplatten	
8, 9 $\lambda/2$ -Plättchen	20
10 Meßdetektor	
11 Referenzdetektor	
12 Element mit steuerbarer Transmission	
13 Strahlteilerwürfel	
14 Objektiv	25
15 Objekt	
16 Differenzverstärker	
17 gleichwertiges optisches System	
18, 19 Polarisationsfilter	
f_1, f_2 Frequenzen	30

Patentansprüche

- Verfahren zur Thermowellennalyse, bei dem auf ein zu untersuchendes Objekt ein Laserstrahl gerichtet wird, und dessen durch die Objektreaktion auf die Energiedepositionierung des Objekts modulierte Intensität über ein zur Fokussierung verwendetes Objektiv mit einem Meßdetektor nachgewiesen wird, dadurch gekennzeichnet, daß
 - die Intensität des Laserstrahls vor dessen Auftreffen auf dem Objekt (15) derart moduliert wird, daß ihr Modulationsspektrum zwei diskrete Frequenzen (f_1, f_2) enthält und
 - die optische Response des Objektes als Amplitude einer durch die besagte Objektreaktion erzeugten Mischfrequenz aus beiden Modulationsfrequenzen (f_1, f_2) am Ausgang des Meßdetektors (10) mittels einer frequenzselektiven Einrichtung gemessen wird.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl durch eine Laserdiode (1) generiert wird, der beide Modulationsfrequenzen (f_1, f_2) zugeführt werden.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl im Strahlengang zwischen Laserquelle (1) und Objektiv (14) einen optischen Modulator passiert, dem beide Modulationsfrequenzen (f_1, f_2) zugeführt werden.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl aus zwei nicht miteinander interferenzfähigen Teilstrahlen zusammengefügt wird, von denen jeder mit einer der beiden Frequenzen (f_1, f_2) intensitätsmoduliert ist.
- Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Teilstrahlen von zwei voneinander unabhängigen Laserquellen (1) erzeugt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Teilstrahlen je einen akustooptischen Modulator (4; 5) durchlaufen.

7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Teilstrahlen senkrecht zueinander polarisiert werden.

8. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zwei Teilstrahlen von ein und derselben Laserquelle (1) mittels Strahlteilung erzeugt werden, wobei Vorkehrungen zur Beseitigung der Interferenzfähigkeit der Teilstrahlen vor der Zusammenfügung getroffen werden müssen.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenzfrequenz der beiden Modulationsfrequenzen (f_1, f_2) registriert und deren Amplitude analysiert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Summenfrequenz der beiden Modulationsfrequenzen (f_1, f_2) registriert und neben der Amplitude zusätzlich auf Phasenablage untersucht wird.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anteil des auf das Objekt (15) gerichteten Lichts zur Erzeugung eines Referenzwertes auf einen Referenzdetektor (11) ausgekoppelt das Differenzsignal beider Detektoren (10, 11) ausgewertet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl aus zwei nichtinterferenzfähigen, mit jeweils einer der beiden Frequenzen (f_1, f_2) intensitätsmodulierten Teilstrahlen zusammengefügt wird und daß die Teilstrahlen vor ihrer Zusammenfügung senkrecht zueinander polarisiert und vor dem Meß- und dem Referenzdetektor (10, 11) analysiert werden, so daß genau einer der beiden Teilstrahlen von jeweils einem der Detektoren (10, 11) registriert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal des jeweils zur Messung gelangenden Teilstrahls mittels des phasenempfindlichen Gleichrichters auf Amplitude und Phasenablage analysiert wird.

14. Anordnung zur Thermowellennalyse, bei der ein Laserstrahl über ein Objektiv auf ein zu untersuchendes Objekt fokussiert ist, in dessen Strahlverlauf nach der Wechselwirkung mit dem Objekt optische Elemente sowie ein Meßdetektor zur Erfassung der durch die Objektreaktion auf die Energiedepositionierung des Objekts modulierten Intensität des Laserstrahls angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß

- die Laserquelle (1) in ihrem Modulationsspektrum zwei diskrete Frequenzen (f_1, f_2) aufweist und

- dem Meßdetektor (10) eine frequenzselektive Einrichtung nachgeordnet ist, die ausschließlich auf die durch die besagte Objektreaktion erzeugte Mischfrequenz aus beiden Modulationsfrequenzen (f_1, f_2) eingestellt ist, so daß die Amplitude dieser Mischfrequenz ermittelbar ist.

15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserquelle (1) eine Laserdiode (1) ist, der beide Modulationsfrequenzen (f_1, f_2) zugeführt werden.

16. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beurteilung des vom Objektiv (15) durchgelassenen Laserstrahls ein dem Objekt

tiv (14) gleichwertiges optisches System (17) und der Meßdetektor (10) dem Objekt (15) auf derselben optischen Achse nachgeordnet sind.

17. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß zur Beurteilung des vom Objekt reflektierten Laserstrahles ein strahlauskoppelndes Element dem Objektiv (14) im Strahlengang des reflektierten Laserstrahls nachgeordnet ist.

18. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der frequenzselektiven Einrichtung ein Differenzverstärker (16) vorgeordnet ist, der an seinem invertierenden Eingang mit einem Referenzdetektor (11), dessen Eingangssignal aus dem unbeeinflussten Laserstrahl der Laserquelle (1) mittels eines halbdurchlässigen Spiegels (2) ausgekoppelt ist, in Verbindung steht.

19. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserquelle (1) aus einem unmodulierten Laser und einem modulierten optischen Element zusammengesetzt ist, dem die zwei Modulationsfrequenzen (f_1 ; f_2) zugeführt sind.

20. Anordnung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß das modulierende optische Element ein akustooptischer Modulator ist.

21. Anordnung zur Thermowellenanzeige, bei der ein Laserstrahl über ein Objektiv auf ein zu untersuchendes Objekt fokussiert ist, in dessen Strahlverlauf nach der Wechselwirkung mit dem Objekt optisch abbildende Elemente sowie ein Meßdetektor zur Erfassung der durch die Objektreaktion auf die Energiedeponierung des Objekts modulierten Intensität des Laserstrahles angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß

— der Laserquelle (1) ein halbdurchlässiger Spiegel (2) nachgeordnet ist, der zwei gleichwertige Teilstrahlen erzeugt,

— Mittel zur Eliminierung der Interferenzfähigkeit beider Teilstrahlen vorhanden sind,

— in jedem Teilstrahl ein optisches Element zur Intensitätsmodulation angeordnet ist, wobei beide modulierenden optischen Elemente eine unterschiedliche Modulationsfrequenz (f_1 bzw. f_2) aufweisen.

— Mittel zur Entkopplung von einfallendem und vom Objekt (15) beeinflussten Laserstrahl in beiden Teilstrahlen vorhanden sind,

— ein Strahlteilerwürfel (13) zur Zusammenfügung der beiden Teilstrahlen vor dem Objektiv (14) angeordnet ist und

— dem Meßdetektor (10) eine frequenzselektive Einrichtung zur Ermittlung der Amplitude der vom Objekt (15) erzeugten Mischfrequenz aus den Modulationsfrequenzen (f_1 ; f_2) nachgeordnet ist.

22. Anordnung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß

— beide Teilstrahlen nach der Aufspaltung gleichsinnig polarisiert sind,

— in den Teilstrahlengängen jeweils eine unter dem Brewsterwinkel positionierte Glasplatte (6 bzw. 7) so angeordnet ist, daß der jeweils reflektierte Strahlanteil der Glasplatten (6; 7) entlang einer gemeinsamen Achse verläuft, wobei auf dieser Achse zwischen den Glasplatten (6; 7) ein $\lambda/2$ -Plättchen und im Richtungssinn der reflektierten Strahlanteile ein Referenzdetektor (11) außerhalb des Glasplattenabstandes angeordnet sind und

— ein $\lambda/2$ -Plättchen (9) in einem der Teilstrahlengänge zwischen Glasplatte (6 oder 7) und Strahlteilerwürfel (13) vorhanden ist.

23. Anordnung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß

— der Meßdetektor (10) auf der besagten gemeinsamen Achse der Glasplatten (6; 7) dem Referenzdetektor (1) bezüglich des Glasplattenzwischenraumes gegenüberliegend angeordnet ist und

— der Strahlteilerwürfel (13) für einen vom Objekt (15) in sich reflektierten Strahlanteil eine Polarisationsweiche darstellt.

24. Anordnung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß zur vollständigen Entkopplung des einfallenden und des am Objekt (15) reflektierten Strahls

— der einfallende Laserstrahl als achsparalleler Strahl zum Objektiv (14) orientiert ist, so daß der am Objekt (15) reflektierte Strahl bezüglich der Objektivachse zentralsymmetrisch verläuft, und

— im Strahlengang des achsparallel austretenden reflektierten Strahls der Meßdetektor (10) angeordnet ist.

25. Anordnung nach Anspruch 23 oder 24, dadurch gekennzeichnet, daß unmittelbar vor dem Referenzdetektor (11) ein Element mit steuerbarer Transmission (12) angeordnet ist zum Abgleich des zeitlichen Mittelwertes der Differenz aus Meß- und Referenzdetektorsignal auf Null.

26. Anordnung zur Thermowellenanalyse, bei der ein Laserstrahl über ein Objektiv auf ein zu untersuchendes Objekt fokussiert ist, in dessen Strahlverlauf nach der Wechselwirkung mit dem Objekt optisch abbildende Elemente sowie ein Meßdetektor zur Erfassung der durch die Objektreaktion auf die Energiedeponierung des Objekts modulierten Intensität des Laserstrahles angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß

— der Laserstrahl aus den Strahlen zweier separater Laserquellen (1), die unterschiedlich mit je einer Frequenz (f_1 ; f_2) intensitätsmoduliert sind, zusammengefügt ist,

— ein Strahlteilerwürfel (13) zur Vereinigung der Strahlen der zwei Laserquellen (1) vor dem Objektiv (14) angeordnet ist und

— dem Meßdetektor (10) eine frequenzselektive Einrichtung zur Ermittlung der Amplitude der vom Objekt (15) aus den Modulationsfrequenzen erzeugten Mischfrequenz (f_1 ; f_2) nachgeordnet ist.

27. Anordnung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Strahlteilerwürfel (13) und Objektiv (14) ein halbdurchlässiger Spiegel (2) angeordnet ist, dessen reflektierter Strahlanteil auf einen Referenzdetektor (1) trifft, wobei der Referenzdetektor (11) und der Meßdetektor (10) mit den Eingängen eines vor der frequenzselektiven Einrichtung eingefügten Differenzverstärkers (16) verbunden sind.

28. Anordnung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß

— die Strahlen der zwei Laserquellen (1) senkrecht zueinander polarisiert sind,

— der Strahlteilerwürfel (13) zugleich eine Polarisationsweiche darstellt und

— vor dem Meß- und Referenzdetektor (10;

11) jeweils ein Polarisationsfilter mit der gleichen Orientierung angeordnet ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

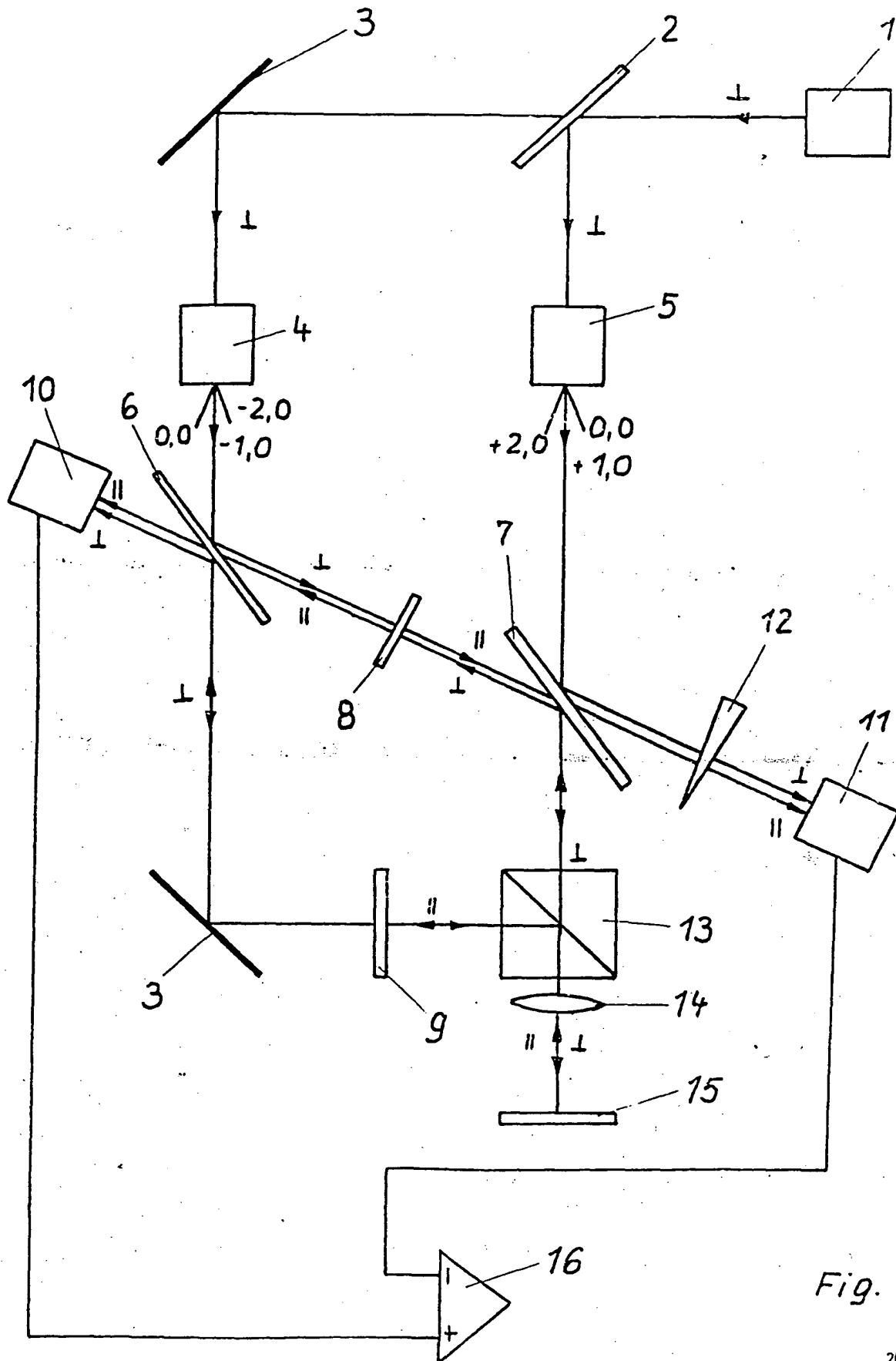
45

50

55

60

65



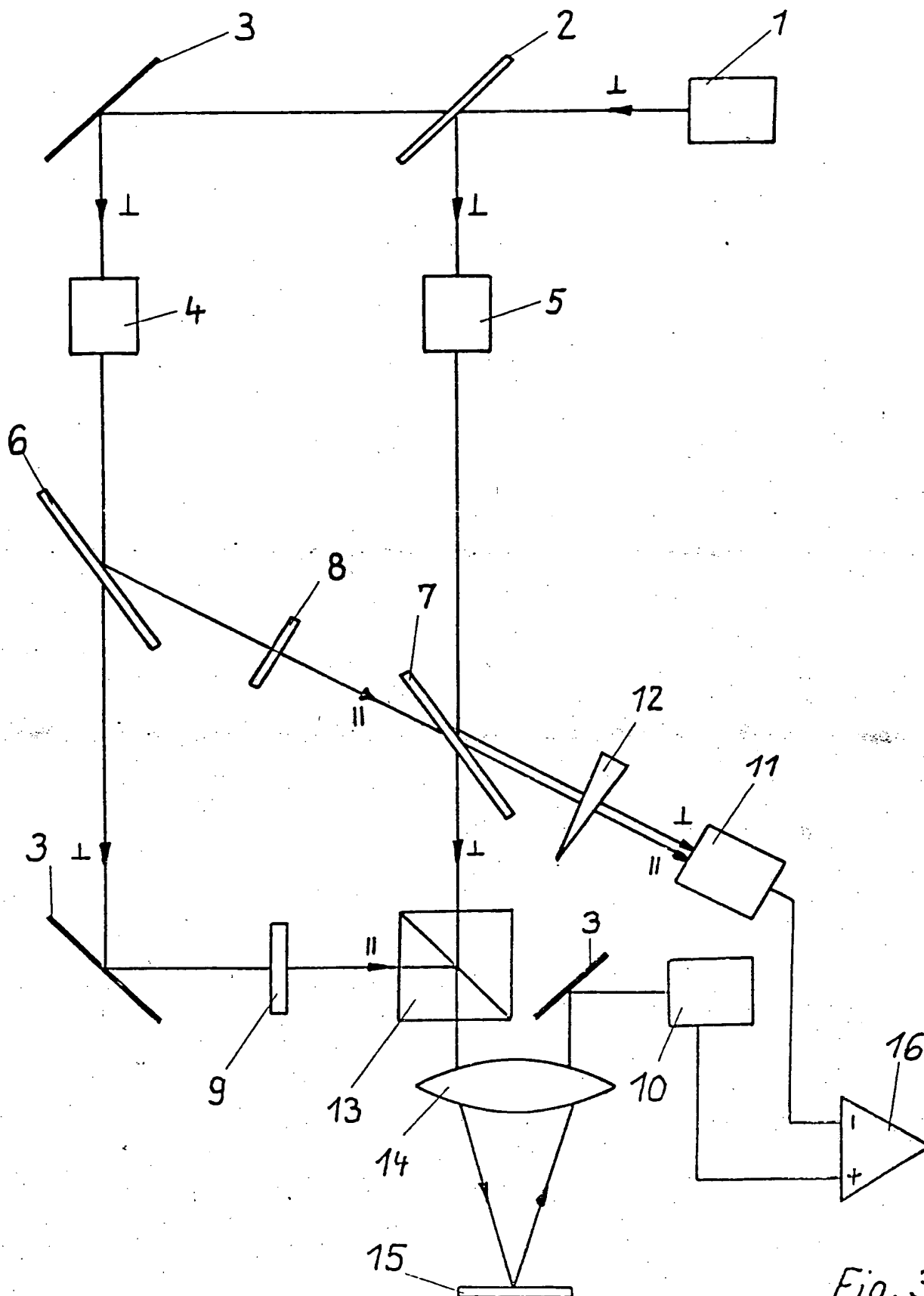


Fig. 3

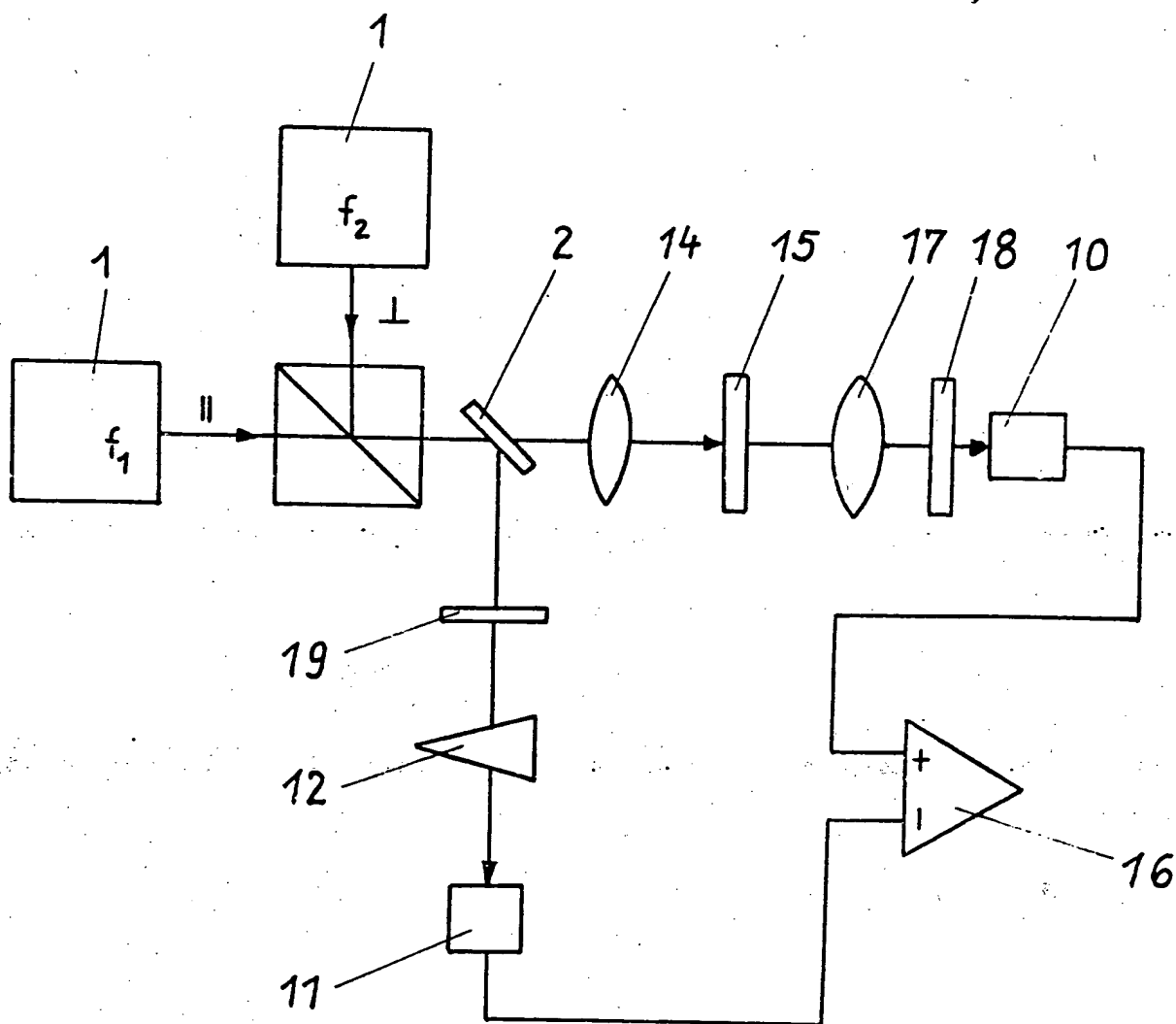


Fig. 4

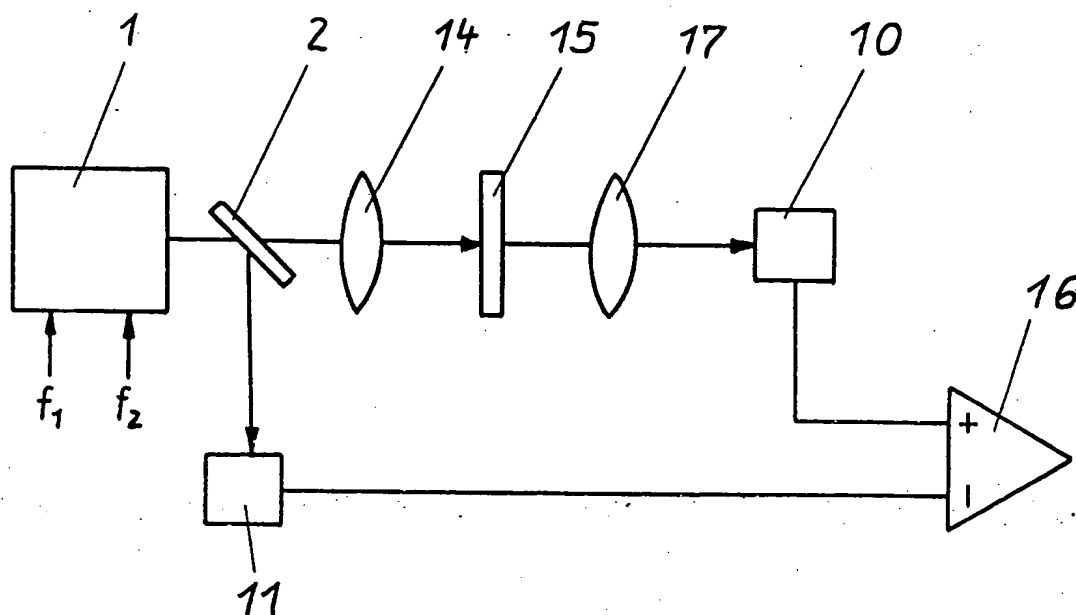


Fig. 1